

## 聴覚刺激を用いた意思伝達支援 BCI システムの開発

渡辺 謙† 千葉 慎二‡

仙台高等専門学校 情報電子システム工学専攻†

仙台高等専門学校 ICT 先端開発センター‡

## 1. はじめに

世の中には体が動けなくなる症状や障害がある。その中のひとつが ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis, 筋萎縮性側索硬化症) である。この病気は脳からの命令を筋肉に伝える運動ニューロンという箇所が侵されることにより、脳からの命令が筋肉まで伝わりにくくなり、次第に筋肉を動かせなくなるものである。このような体を動かせなくなってしまう患者を支援する技術の一つに BCI (Brain Computer Interface) がある。BCI は脳が発する微弱な電位変化を電極で計測した脳波 (EEG, Electroencephalogram) から抽出した特徴を基に、コンピュータや機械を動作させるシステムである。目や耳への感覚刺激に反応した脳波の特徴を用いて BCI をコミュニケーションツールとして利用することが可能であり、これまで様々な研究がなされている [1] [2]。

本研究では、聴覚刺激への集中を検出する BCI の構築を目指し、BCI に適した脳波解析処理について実験および検討を行った。

## 2. 研究概要

## 2.1. 脳波計について

本研究では Emotiv 社製の Emotiv EEG (図 1) という脳波計を採用した。この脳波計は 10%法を基にした 14 個の計測電極を有しており、サンプリング周波数は 128 [Hz] である。低コストで取り扱いも簡便なため、一般家庭で使用する BCI システム用の脳波計として適している。



図 1. Emotiv EEG

The Development of BCI System to support Communication using Auditory Stimulation

†Ken Watanabe · Advanced Course of Information and Electronic System Engineering, Sendai National College of Technology

‡Shinji Chiba · ICT development Center, Sendai National College of Technology

## 2.2. 信号処理

脳波には様々な反応を示す特徴が含まれている。そこで脳波から必要な情報を抽出するために信号処理が必要となる。本研究の実験では主に以下の 3 つの信号処理を用いた。

まず、FFT (高速フーリエ変換, Fast Fourier Transform) [3] である。これは時間領域データをスペクトルと呼ばれる各周波数の波形の強さを表す周波数領域データに変換する手法である。FFT の計算式を式 (1) に示す。

$$F[k] = \sum_{n=0}^{N-1} f[n] e^{-j\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)} = |F[k]| e^{j\theta[k]} \quad \dots (1)$$

$$(k = 0, 1, \dots, N-1)$$

$\left\{ \begin{array}{l} F[k]: \text{出力複素行列}, f[n]: \text{入力複素行列} \\ |F[k]|: \text{振幅スペクトル}, \theta[k]: \text{位相スペクトル} \end{array} \right.$

次に、PLV (Phase Locking Value) [4] である。PLV は課題誘発変化による脳波内の神経活動同期の高さを計算する手法である。PLV の計算式を式 (2) に示す。

$$PLV = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} e^{j\theta_1[n] - \theta_2[n]} \right| \quad \dots (2)$$

$\left\{ \begin{array}{l} \theta_k[n]: k \text{ 地点の位相スペクトル} \\ PLV: \text{計算結果} \end{array} \right.$

最後に、Wavelet 変換 [3] である。Wavelet 変換は瞬間的なスペクトル変化も確認できる時間-周波数変換を行う手法である。Wavelet 変換の計算式を式 (3) (4) に示す。

$$c[j][k] = \sum_{m=0}^N g_0[m-2k] \cdot c[j+1][k] \quad \dots (3)$$

$$d[j][k] = \sum_{m=0}^N g_1[m-2k] \cdot c[j+1][k] \quad \dots (4)$$

$\left\{ \begin{array}{l} c[j][k]: \text{スケーリング変数} \\ d[j][k]: \text{ウェーブレット変数} \\ g_k: \text{フィルタバンクのインパルス応答} \end{array} \right.$

## 2.3. Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) [5] はパターン認識手法の一つである。特徴量 (入力教師データ) にクラス番号 (出力教師データ) を対応付けて教師あり学習を行い、2 クラス分類パターン認識器を構築する。SVM の計算式を式 (5) (6) に示す。

$$D(x) = \text{sign}(g(x)) = \begin{cases} 1 & (g(x) > 0) \\ -1 & (g(x) \leq 0) \end{cases} \quad \dots (5)$$

$$g(x) = w^T \phi(x) + b \quad \dots (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{w}: \text{重みベクトル} \\ \Phi(\mathbf{x}): \text{高次元特徴空間への写像} \\ \mathbf{b}: \text{バイアス} \end{array} \right.$$

### 3. 意思伝達支援 BCI システム

本研究で提案する BCI システムは、一定間隔で発生する聴覚刺激への集中をリアルタイムに判別し、その聴覚刺激に対応した処理を行うことが可能である。本システムには、あらかじめ構築したモデルを保存した Model ファイル、解析内容を保存した PCS ファイル、正規化情報を保存した RANGE ファイル、それらに対応する聴覚刺激の WAV ファイルを設定する。現段階では、聴覚刺激に集中した場合に「集中を確認しました」という音声を流す(図 2)。本システムの動作確認実験により、聴覚刺激への集中時に対応した動作を確認した。

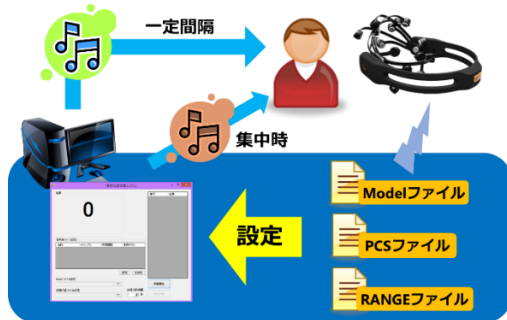


図 2. 意思伝達支援 BCI システム

### 4. 聴覚刺激判別実験

#### 4.1. 実験概要

本実験の被験者として 19~22 歳の男性 5 名に協力してもらった。被験者には聴覚刺激を流した際に刺激に集中する(刺激の数を数える)場合と集中しない(読書をする)場合の 2 パターンをそれぞれ計 300 回実施してもらった。この時、計測した脳波に FFT(2[Hz] 振幅スペクトル)、PLV、Wavelet 変換 (2[Hz] 振幅スペクトル) を使用した際のそれぞれの刺激認識率を評価した。また、各処理の前にノイズ除去のためにフィルタによって、0.5[Hz] 以下(低周波数ノイズ)と 49~51[Hz] 間(ハミングノイズ)の波形は除去している。また、クラス番号 1 を「音に集中した」特徴量、クラス番号 2 を「音に集中しなかった」特徴量と対応付けた。

#### 4.2. 実験結果

クラス番号 1 と 2 それぞれの認識率[%]を混同行列の F 値で示し、Tukey 法で多重比較検定を行った結果を表 1 に示す。その結果、各クラスの各

信号処理で 5%水準よりも大きい箇所が存在しない、つまり有意差がある組み合わせがないという結果になった。表 1 の各被験者の結果を見てみると、被験者 1 が他の被験者と比較して高い認識率を示していることが分かる。このことから、被験者 1 の脳波には元々ノイズの影響が少なく、信号処理をした際に良好な結果を得られたのではないかと考えられる。

表 1. 実験結果

| Label 1         |             |         |            | Label 2         |             |         |            |
|-----------------|-------------|---------|------------|-----------------|-------------|---------|------------|
| 被験者             | A. FFT(2Hz) | B. PLV  | C. WT(2Hz) | 被験者             | A. FFT(2Hz) | B. PLV  | C. WT(2Hz) |
| 1               | 66          | 70.7    | 51.4       | 1               | 60.5        | 71.3    | 59         |
| 2               | 51          | 45.1    | 44.7       | 2               | 46.9        | 42.9    | 59.1       |
| 3               | 47.7        | 47.3    | 61.5       | 3               | 51.2        | 54.2    | 39.7       |
| 4               | 50.5        | 57.1    | 53.2       | 4               | 47.4        | 55.8    | 34.7       |
| 5               | 47.8        | 57      | 61.3       | 5               | 53.1        | 59.9    | 50.3       |
| 水準平均            | 52.58       | 55.44   | 54.42      | 水準平均            | 51.82       | 56.82   | 48.58      |
| 分散              | 58.883      | 102.808 | 50.637     | 分散              | 30.277      | 105.207 | 123.428    |
| 分散平均            | 70.776      |         |            | 分散平均            | 86.304      |         |            |
| Tukey           |             |         |            | Tukey           |             |         |            |
| A-B 0.765481119 |             |         |            | A-B 1.203481848 |             |         |            |
| A-C 0.494373222 |             |         |            | A-C 0.784670165 |             |         |            |
| B-C 0.271107896 |             |         |            | B-C 1.988152012 |             |         |            |
| 5%水準 4.6        |             |         |            |                 |             |         |            |

### 5. まとめ

利用者の意思伝達を支援するシステムの構築と、そのシステムに最適な信号処理の評価を行った。意思伝達支援 BCI システムについては聴覚刺激が鳴った際に集中すると動作することを確認した。しかし、最適な信号処理については今回の実験では見つけることはできなかった。これは前処理(ノイズ除去など)がまだ完全ではないためであると考えられるため、今後は波形の前処理を改善し、より高い認識率の実現を目指す。

#### [参考文献]

- [1] 加納 慎一郎, 山岸 智久, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫「聴覚刺激の音脈分凝を利用した BCI システムの開発」『信学技報 IEICE Technical Report NC2007-187』pp. 445-449 (2008-3)
- [2] 雑賀 広記, 三浦 直樹, 川島 隆太, 王 碩玉「聴覚刺激に対する選択的注意を利用した Brain-Computer Interface の開発」『信学技報 IEICE Technical Report NC2008-52』pp. 85-88 (2008-10)
- [3] 和田成夫(2009)「よくわかる信号処理 フーリエ変換からウェーブレット変換まで」(森北出版株式会社)
- [4] 「Phase Locking Value」  
<http://praneethnamburi.wordpress.com/2011/08/10/plv/> (最終アクセス: 2015/1/4)
- [5] 阿部重夫(2011)「パターン認識のためのサポートベクトルマシン入門」(森北出版株式会社)